

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

შორენა ფხაკაძე

ელექტრული და ელექტრონული წრედების საფუძველზე
ჰიბრიდული ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული
სისტემების პარალელური მუშაობის რეჟიმების
მართვა და ოპტიმიზაცია

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი 2013 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის
ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის დეპარტამენტის
ელექტროტექნიკისა და ენერგეტიკული დანადგარების დიაგნოსტიკის
მიმართულებაზე.

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: გივი კოხრეიძე - ასოც. პროფესორი, ტექნიკურ
მეცნიერებათა აკადემიური დოქტორი, სტუ-ს ელექტროენერგეტიკის
სამეცნიერო-საინჟინრო ცენტრის დირექტორის მოადგილე.

რეცენზენტები: 1. არჩილ ვაშაკიძე - სრული პროფესორი, ტექნიკურ
მეცნიერებათა დოქტორი
2. კონსტანტინე კამკამიძე - სრული პროფესორი, ტექნიკურ
მეცნიერებათა დოქტორი

დაცვა შედგება 2013 წლის "-----" -----, ----- საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და
ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის
სხდომაზე, კორპუსი VIII, აუდიტორია N305
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი / გ. ხელიძე /

სამუშაოს ზოგადი დახასიათება

თემის აქტუალობა

ელექტროენერგეტიკის განვითარების თანამედროვე ეტაპზე მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია ელექტროენერგიის ალტერნატიულ წყაროების ბაზაზე მუდმივი და ცვლადი დენის ავტონომიური ჰიბრიდული ენერგოსისტემის შექმნასა და გამოყენებას. ქვეყნის ცალკეული შორეული რაიონების ელექტრომომარაგებაში ავტონომიური ჰიბრიდული ენერგოსისტემის გამოყენება მზის ელემენტების, ქარის გენერატორების, ელექტრული ენერგიის დამაგროვებლის - აკუმულატორული ბატარეებისა და დიზელგენერატორების ბაზაზე მიზანშეწონილია თუ ენერგოსისტემის განვითარება შეუძლებელია და ფასები საწვავზე და სათბობზე მიუღებლად მაღალია რთული ტრანსპორტირების გამო.

სამეცნიერო-ტექნიკური პროგრამების არსებული დონის პირობებში ენერგომომხმარება შეიძლება დაიფაროს ორგანული საწვავის (ნახშირი, ნავთობი, გაზი), ჰიდროენერგიის და თბური ნეიტრონების საფუძველზე ატომური ენერგიების გამოყენების ხარჯზე. ერთის მხრივ, მრავალრიცხოვანი გამოკვლევების შედეგების მიხედვით 2020 წლისათვის ორგანული საწვავი მხოლოდ ნაწილობრივ დააკმაყოფილებს მსოფლიო ენერგეტიკის მოთხოვნებს. ენერგომომხმარების დარჩენილი ნაწილი შეიძლება დაკმაყოფილდეს არატრადიციული და განახლებადი ენერგიის წყაროების ხარჯზე.

მზის, ქარის, დიზელგენერატორების და აკუმულატორული ბატარეის ენერგიების ერთდროული ან სელექციური გზით გამოყენება წარმოადგენს ძირითად საფუძველს, როგორც მუდმივი, ასევე ცვლადი ძაბვის ჰიბრიდული ენერგოსისტემის განვითარებისათვის.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, მდგრადი და საიმედო ელექტრომომარაგების უზრუნველყოფის მიზნით ჰიბრიდული ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული სისტემების პარალელური მუშაობის რეჟიმების მართვა და ოპტიმიზაცია წარმოადგენს სადისერტაციო თემის მეტად

აქტუალურ საკითხთა ერთობლიობას, რომლებიც დამუშავებულია ავტორის მიერ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტში სამი წლის განმავლობაში შესრულებული გამოკვლევების საფუძველზე.

სამუშაოს მიზანი და კვლევის ამოცანები. დისერტაციის მიზანია ჰიბრიდული ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული სისტემების პარალელური მუშაობის რეჟიმების გაანგარიშების, მართვისა და ოპტიმიზაციის თეორიის განვითარება, რაც საშუალებას იძლევა ენერგიის არატრადიციული და განახლებადი წყაროების ეფექტური გარდაქმნისა და გამოყენების ტექნოლოგიების დანერგვას ელექტროტექნიკაში. სადისერტაციო ნაშრომში საჭიროდ მიგვაჩნია შემდეგი ძირითადი ამოცანების გადაწყვეტა:

1. ენერგიის არატრადიციული და განახლებადი წყაროების გარდაქმნისა და მიზანმიმართული გამოყენების ტექნოლოგიების დამუშავება ელექტროტექნიკაში;

2. მზის ელემენტის განზოგადებული ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის წარმოდგენა კვადრატული სამწევრის სახეში;

3. იმპულსური გარდაქმნელიანი ჰიბრიდული პარალელური ელექტრო-ენერგეტიკული სისტემის განზოგადებული სტრუქტურული და პრინციპული ელექტრული სქემების დამუშავება;

4. მუდმივი და ერთფაზა ცვლადი დენის ავტონომიურ ჰიბრიდულ ელექტროსისტემაში ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირება. აკუმულატორული ბატარეის დამუხტვა განმუხტვის პროცესების რეგულირება;

5. განახლებადი ენერგიის წყაროებიან მუდმივი და ერთფაზა ცვლადი დენის ავტონომიურ ჰიბრიდული ენერგოსისტემის პარალელური მუშაობის რეჟიმების მართვა იმპულსური გარდამქმნელების საშუალებით და ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების მოდელის სტრუქტურული სქემების აგება;

6. ჰიბრიდული ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული სამფაზა სისტემების პარალელური მუშაობის დინამიური პროცესების მოდელირება, რეჟიმების მართვა და ოპტიმიზაცია;

7. ჰიბრიდულ ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული დინამიური სისტემების ცვლადთა მდგომარეობის მატრიცული განტოლების შედგენა და რიცხვითი მეთოდით ამოხსნა დროის არეში;

8. ჰიბრიდულ ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული პარალელური სისტემების მუშაობის რეჟიმების ოპტიმიზაცია და მდგრადობის გამოკვლევა.

კვლევის მეთოდები: დასმული ამოცანების თეორიული საფუძვლების დასამუშავებლად დისერტაციაში გამოყენებულია წრფივი და არაწრფივი ელექტრული წრედების, დისკრეტული და ცვლად პარამეტრებიანი დინამიკური სისტემების, განზოგადებული ფუნქციების თეორიები, სპექტრული ანალიზის და ოპერაციული აღრიცხვის მეთოდები, ცვლადთა კომპლექსური გარდაქმნის მეთოდი, გაანგარიშების რიცხვითი მეთოდი, კომპიუტერული მოდელირების საფუძვლები და ექსპერიმენტები ფიზიკურ მოდელზე.

ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე: დისერტაციაში მოყვანილია ელექტროენერგეტიკის მნიშვნელოვანი პრობლემის - ჰიბრიდული ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული სისტემების პარალელური მუშაობის რეჟიმების მართვისა და ოპტიმიზაციის საკითხების დამუშავების თეორიული განზოგადება და გადაწყვეტა. ახალი მეცნიერული შედეგებიდან შეიძლება აღინიშნოს შემდეგი:

1. დამუშავებულია ენერგიის არატრადიციული და განახლებადი წყაროების გარდაქმნისა და გამოყენების ზოგიერთი ტექნოლოგია ელექტროტექნიკაში.

2. პირველად მიღებული იქნა მზის ელემენტის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის განზოგადებული ანალიზური გამოსახულება ფარდობით ერთეულებში კვადრატული სამწევრის სახით. გამოყენებული იქნა ვოლტ-

ამპერული მახასიათებლის სამი კრიტიკული (უქმი სვლის, ოპტიმალური და მოკლე შერთვის რეჟიმების შესაბამისი) წერტილის კოორდინატების მიხედვით მახასიათებლის ინტერპოლაცია ლანგრაჟის ფორმულის საფუძველზე.

3. განხილულია ტყვია-მჟავიანი აკუმულატორული ბატარეის დამუხტვისა და განმუხტვის პროცესების მართვის თეორიული საკითხები ჰიბრიდულ ელექტროენერგეტიკულ სისტემასთან პარალელური მუშაობის პირობებში.

4. დამუშავებულია და შექმნილია იმპულსურ გარდამქმნელიანი ჰიბრიდულ პარალელური ელექტროენერგეტიკული სისტემის განზოგადებული სტრუქტურული და პრინციპული ელექტრული სქემები.

5. ჩატარებულია მუდმივი და ერთჯერა ცვლადი დენის ავტონომიურ ჰიბრიდულ ელექტროსისტემაში ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირება. მიღებულია ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების მოდელის სტრუქტურული სქემები კენტი და ლუწი რეჟიმების განზოგადებულ დროის ინტერვალებისათვის.

6. შესრულებულია ჰიბრიდულ ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული სამჯერა სისტემების პარალელური მუშაობის დინამიური პროცესების მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირება, რეჟიმების მართვა და ოპტიმიზაცია განზოგადებულ ინტერვალებისათვის.

7. შედგენილია ერთიანი სისტემის პარალელური მუშაობის კენტი და ლუწი რეჟიმების ელექტრული წონასწორობისა და ცვლადთა მდგომარეობის მატრიცული განტოლებები და ნაჩვენებია მათი რიცხვითი მეთოდით ამოხსნა განზოგადებულ დროის ინტერვალებისათვის.

8. დადგენილია განზოგადებული დროის იმ ინტერვალის რიგითი ნომრის გამოსახულება, რომლიდანაც იწყება გარდამავალი პროცესების დამყარება. ე.ი. წინასწარ არის შესაძლებელი გარდამავალი პროცესების ხანგრძლივობის რეგულირება ციფრული და სარელეო დაცვის ეფექტური განხორციელების მიზნით. ჩატარებულია ჰიბრიდულ ავტონომიური ელექტროენერგეტიკულ

პარალელური სისტემის მუშაობის რეჟიმების მდგრადობის გამოკვლევა.

შედეგების გამოყენების სფერო

1. ენერგიის არატრადიციული და განახლებადი წყაროების გარდაქმნისა და გამოყენების ტექნოლოგიების დამუშავების შედეგად ელექტროტექნიკასა და ელექტროენერგეტიკაში საფუძველი ჩაეყარა იმპულსურ გარდამქმნელიანი ჰიბრიდულ პარალელურ ელექტროენერგეტიკული სისტემის განზოგადებული სტრუქტურული და პრინციპული ელექტრული სქემების შექმნასა და დამუშავებას. მათი გამოყენების სფეროა დასახლებული პუნქტებიდან და ცენტრალური (მაგისტრალური) ელექტრომომარაგების ელექტროგადამცემი ხაზებიდან გაცილებით შორს განლაგებულ კომპიუტერული და რადარული ტექნიკის, აგრეთვე გეოდეზიური და გეოლოგიური სამუშაოების უწყვეტი სტაბილური ელექტრომომარაგება.

2. მრავალდანიშნულებიანი მუდმივი და ცვლადი დენის დატვირთვების ნორმალური უწყვეტი ფუნქციონირების მიზნით დამუშავებულ თანამედროვე ჰიბრიდულ პარალელური ენერგოსისტემის განზოგადებულ სტრუქტურულ სქემაში გათვალისწინებულია მზის ფოტოელექტრული სადგურის, ქარის გენერატორული სადგურის, აკუმულატორული ბატარეების და დიზელგენერატორების ერთდროული და სელექციური ექსპლუატაცია. პროცესების ოპერატიული და დისპეტჩერული მართვა განხორციელებულია დატვირთვების გადამწოდების სიგნალების შესაბამისი მართვის სისტემის მიერ გენერირებული მართვის იმპულსებით ტირისტორებისა და ტრანზისტორული მოდულების გაღების და წინსწრების კუთხეების მდოვრედ რეგულირების საფუძველზე.

3. წარმოდგენილი ერთიანი განზოგადებული შეკრული სისტემის ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირების, ელექტრული წონასწორობის და ცვლადთა მდგომარეობის მატრიცული განტოლებების შედგენის, რეკურენტული სხვა-

ობითი განტოლებების მიღების, მათი დროის განზოგადებულ ინტერვალებში რიცხვითი მეთოდით ამოხსნის, დამყარებული პროცესების შესაბამისი განზოგადებული ინტერვალების რიგითი ნომრების ანალიზური გამოსახულებების მიღების, რეჟიმების ოპტიმიზაციის და მდგრადობის გამოკვლევის შედეგების და რეკომენდაციების გამოყენების არეალია მთლიანი ავტონომიური ელექტრო სისტემის სარეგო დაცვისა და მომხმარებელთა სტაბილური, საიმედო და მდგრადი ელექტრომომარაგების უზრუნველყოფის სფერო.

პუბლიკაციები და სამუშაოს აპრობაცია

დისერტაციის ძირითადი შინაარსი გამოქვეყნებულია 11 ნაბეჭდ და 5 ხელნაწერის უფლებით არსებულ შრომაში. მათ შორის 3 საერთაშორისო შრომათა კრებულში (უკრაინა: ხარკოვი-2010,1011 წწ, კრემენჩუკი-2012წ), 8-სამეცნიერო ტექნიკურ ჟურნალ „ენერგიაში“.

სამუშაოს შედეგები მოხსენებული იყო 3 საერთაშორისო კონფერენციაზე (უკრაინა-2010,2011,2012წწ), 2 სტუ-ს N79-ე და N80-ე სტუდენტთა საერთაშორისო ღია სამეცნიერო კონფერენციაზე(თბილისი-2011,2012 წწ.), 2-თემატურ სემინარზე (თბილისი-2012,2013წწ.), 1-საგანმანათლებლო პროგრამის კვლევითი კომპონენტის „კოლოქვიუმი-3“-ის სამეცნიერო სხდომაზე (თბილისი-2013წ.)

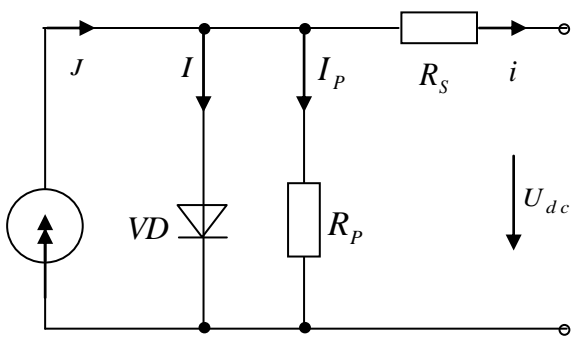
დისერტაციის სტრუქტურა: დისერტაცია შედგება შესავლის, ლიტერატურის მიმოხილვის, შედეგების და მათი განსჯისაგან, დასკვნის და გამოყენებული ლიტერატურისაგან. მთელი მოცულობა შეადგენს 145 გვერდს, მათ შორის 109 ძირითადი ტექსტია 22 ნახაზით. გამოყენებული ლიტერატურის სია შეიცავს 52 დასახელებას.

დისერტაციის შინაარსი

შესავალში დასაბუთებულია პრობლემების აქტუალობა, ჩამოყალიბებულია კვლევის მიზანი და ამოცანები. ნაჩვენებია სამუშაოს მეცნიერული

სიახლის და პრაქტიკული მნიშვნელობის ძირითადი ასპექტები.

პირველი თავი ეძღვნება ენერგიის არატრადიციული და განახლებადი წყაროების გარდაქმნისა და გამოყენების ტექნოლოგიების დამუშავებას ელექტროენერგეტიკაში. შესწავლილია არატრადიციული და განახლებადი ენერგიის წყაროების მდგომარეობა და წარმოდგენილია გამოყენების პერსპექტივები და სტრატეგიული მიზნები. განხილულია მზის ენერგიის გარდაქმნის პროცესების ფიზიკური საფუძვლები მზის გამოსხივების ინტენსიურობისა და P-n გადასვლის ფოტოელექტრული თვისებების გათვალისწინებით.



ნახ.1. მზის ელემენტის შენაცვლების ელექტრული სქემა

წარმოდგენილია მზის ელემენტის შენაცვლების ელექტრული სქემა (ნახ.1), სადაც R_p, R_s შესაბამისად მზის ელემენტის მაშუნიტრებელი და მიმდევრობითი წინაღობებია; J – P – n გადასასვლელზე გამავალი ფოტოდენი; I – გაჯერების უკუდენი; i, U_{dc} – შესაბამისად მზის ელემენტის

გამომავალი დენი და ძაბვა; I_p – მაშუნიტრებელ წინააღობაში გამავალი დენია.

შემოვიღოთ აღნიშვნები $A = 1 \div 5$ - დიოდური კოეფიციენტი; K - ბოლცმანის კოეფიციენტი, T - აბსოლუტური ტემპერატურა; e - ელექტრონის მუხტი. მზის ელემენტის ვოლტ - ამპერული მახასიათებლის აღმწერი ზოგადი გამოსახულება ტრანცენდენტურ სახეში წარმოდგენილია ასე

$$i = J - I \left\{ \exp \left[\frac{e(U_{dc} + iR_s)}{AKT} \right] - 1 \right\} - \frac{U_{dc}}{R_p}. \quad (1)$$

იმისათვის რომ (1)-დან მივიღოთ მზის ელემენტის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი ფარდობით ერთეულებში $U_{dc}^* = f(i^*)$ კვადრატული სამწევრის სახეში, საჭიროა ჩვენს მიერ ჩატარდეს შემდეგი შუალედური მათემატიკური გარდაქმნები და მოქმედებები: (1)-დან განვსაზღვროთ U_{dc} :

$$U_{dc} = R_p [J - I \{ \exp [K_0 (U_{dc} + iR_s)] - 1 \} - i], \quad (2)$$

სადაც
$$K_0 = \frac{e}{AKT} \quad (3)$$

(2)-დან უქმი სვლის ($i = 0$) და მოკლე შერთვის ($U_{dc} = 0$) რეჟიმებისათვის გვაქვს განტოლებათა შემდეგი სისტემა:

$$\left. \begin{aligned} U_{dc\text{უქმ}} &= R_p [J + I - I \cdot \exp(K_0 U_{dc\text{უქმ}})]; \\ i_{\text{მ.შ}} &= J + I - I \cdot \exp(K_0 i_{\text{მ.შ}} \cdot R_s). \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

(4) განტოლებათა სისტემის ამოხსნა I და J -ს მიმართ გვაძლევს:

$$I = \frac{c}{R_p} U_{dc\text{უქმ}}; \quad J = \frac{1 + cb}{R_p} U_{dc\text{უქმ}}; \quad J = \left(b + \frac{1}{c}\right) I, \quad (5)$$

სადაც:

$$b = \exp(K_0 U_{dc\text{უქმ}}) - 1; \quad c = \frac{1 - \frac{R_p i_{\text{მ.შ}}}{U_{dc\text{უქმ}}}}{\exp(K_0 i_{\text{მ.შ}} R_s) - \exp(K_0 U_{dc\text{უქმ}})}. \quad (6)$$

(5) გამოსახულებები ჩავსვათ (2)-ში, მივიღებთ მზის ელემენტის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის განტოლებას ფარდობით ერთეულებში:

$$U_{dc}^* + a \cdot i^* = b' - c \cdot \exp[d(U_{dc}^* + i^*)], \quad (7)$$

სადაც: $a = \frac{R_p}{R_s}, d = K_0 U_{dc\text{უქმ}}, i^* = \frac{i}{\frac{U_{dc\text{უქმ}}}{R_s}}, U_{dc}^* = \frac{U_{dc}}{U_{dc\text{უქმ}}}, b' = 1 + c(1 + b).$ (8)

(7) განტოლების მარჯვენა მხარის მეორე წევრი დავშალოთ ტეილორის მწკრივებად და გავითვალისწინოთ დაშლის პირველი სამი წევრი. შედეგად (7) – დან მივიღებთ:

$$U_{dc}^* \left(1 + cd + \frac{1}{2} cd^2 U_{dc}^* + cd^2 i^*\right) = b' - c - (a + cd)i^* - \frac{1}{2} cd^2 (i^*)^2 \quad (9)$$

დენის $0 < i^* < i_{\text{მ.შ}}^*$ ინტერვალისათვის (9) განტოლების ამოხსნა გვაძლევს $U_{dc}^* = f(i^*)$ ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის განტოლებას შემდეგ სახეში:

$$\begin{aligned} U_{dc}^* &= \frac{1}{cd^2} \left(-[1 + cd + cd^2 i^*] \pm [[1 + cd(1 + di^*)]^2 + \right. \\ &\quad \left. + 2cd^2 \left[b' - c - (a + cd)i^* - \frac{1}{2} cd^2 (i^*)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right) \end{aligned} \quad (10)$$

მზის ელემენტის სიმძლავრისთვის გვაქვს:

$$P^* = U_{dc}^* \cdot i^* = \frac{1}{cd^2} (-i^*[1 + cd(1 + di^*)] \pm i^*[(1 + cd + cd^2 i^*)]^2 + 2cd^2 \left[b' - c - (a + cd)i^* - \frac{1}{2}cd^2(i^*)^2 \right] \Bigg|^{\frac{1}{2}}) \quad (11)$$

(11) გამოსახულებაში თუ მივიღებთ დაშვებას $R_s=R_p$ მაშინ გვექნება $a = 1$; $\mu_3 = 0$ და $\frac{dP^*}{di^*} = 0$ პირობისათვის მივიღებთ $i_{ოპტ}^*$ ოპტიმალური დენის მიმართ შემდეგ განტოლებას:

$$\mu_2(i_{ოპტ}^*)^2 + \mu_1 i_{ოპტ}^* + \mu_0 = 0 \quad (12)$$

სადაც

$$\left. \begin{aligned} \mu_2 &= 4c^2 d^4 [1 + 2cd - d^2 c(2b' - c)]; \\ \mu_1 &= 4d^2 c \{1 + cd(3 + 2b'/d) + c^2 d^2 [1 + d(2b' - c)]\}; \\ \mu_0 &= 2cd + c^2 d^2 (5 - c^2 d^2) + dc^2 d^3 2(2 + cd) \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

(12) განტოლების ამოხსნა და (10) განტოლების გათვალისწინება გვაძლევს $i_{ოპტ}^*$ ოპტიმალური დენის და ოპტიმალური $U_{dc,ოპტ}^*$ ძაბვის შემდეგ

$$\text{გამოსახულებებს:} \quad i_{ოპტ}^* = \frac{1}{2\mu_2} \left[-\mu_1 \pm (\mu_1^2 - 4\mu_0\mu_2)^{\frac{1}{2}} \right]; \quad (14)$$

$$U_{dc,ოპტ}^* = \frac{1}{cd^2} (-[1 + cd(1 + di_{ოპტ}^*)] \pm [1 + cd(1 + di_{ოპტ}^*)]^2 + 2cd^2 \left[b' - c - (a + cd)i_{ოპტ}^* - \frac{1}{2}cd^2(i_{ოპტ}^*)^2 \right] \Bigg|^{\frac{1}{2}}) \quad (15)$$

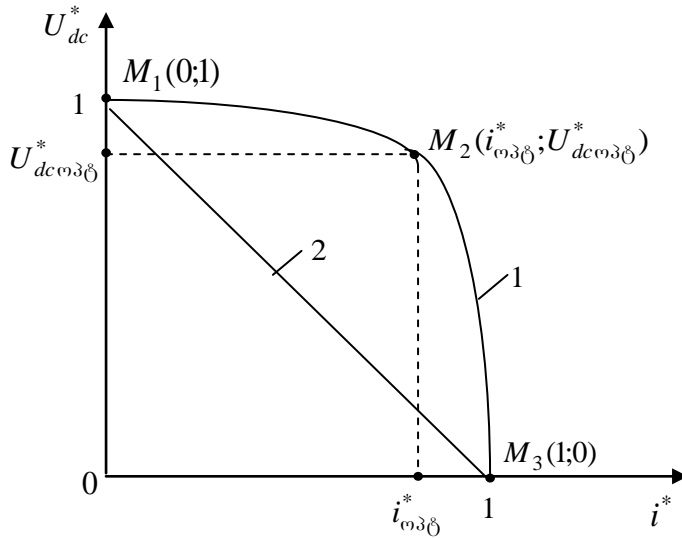
(15) გამოსახულების თანახმად გვაქვს $U_{dc,ოპტ}^*$ ოპტიმალურ ძაბვის გამოსახულებასა და დატვირთვის დენის $i_{ოპტ}^*$ ოპტიმალური გამოსახულებას შორის დამოკიდებულება.

ამრიგად, მზის ელემენტის ვოლტ-ამპერულ მახასიათებელზე გვაქვს სამი წერტილის კოორდინატები ცნობილი: $M_1(0,1)$; $M_2(i_{ოპტ}^*; U_{dc,ოპტ}^*)$; $M_3(1,0)$; მოვახდინოთ ამ სამი წერტილის კოორდინატების მიხედვით $U_{dc}^* = f(i^*)$ ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის ინტერპოლაცია ლანგრანჟის ფორმულის მიხედვით და შედეგად მივიღებთ:

$$U_{dc}^* = A_1(i^*)^2 - (1 + A_1)i^* + 1 \quad (16)$$

სადაც
$$A_1 = \frac{1}{i_{\text{ოპტ}}^*} + \frac{U_{\text{dc}}^* \text{ოპტ}}{[i_{\text{ოპტ}}^* (i_{\text{ოპტ}}^* - 1)]} \quad (17)$$

(16), (17)-დან გამომდინარეობს, რომ თუ $i^* = 0$, მაშინ $U_{\text{dc}}^* = U_{\text{dc}}^* \text{უქმ} = 1$; თუ $U_{\text{dc}}^* = 0$, მაშინ გვაქვს $i^* = i_{\text{ა.შ}}^* = 1$. თუ $i^* = i_{\text{ოპტ}}^*$, მაშინ გვაქვს $U_{\text{dc}}^* = U_{\text{dc}}^* \text{ოპტ}$.



ნახ.2. მზის ელემენტის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი

ყოველივე ამის შემდეგ (16) განტოლების საფუძველზე აგებულ ვოლტ-ამპერულ მახასიათებელს აქვს ნახ.2-ზე ნაჩვენები მრუდი 1-ის სახე. იმ შემთხვევაში თუ (7) განტოლების მარჯვენა მხარის მეორე წევრის ტეილორის მწკრივებად დაშლაში გავითვალისწინებთ მხოლოდ დაშლის პირველი

ორ წევრს, მაშინ ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის გამოსახულებას აქვს სახე:

$$U_{\text{dc}}^* = 1 - i^* \quad (18)$$

(18) გამოსახულების საფუძველზე აგებულ ვოლტ-ამპერულ მახასიათებელს აქვს ნახ.2-ზე ნაჩვენები მრუდი 2-ის სახე. როგორც ნახ.2-დან ჩანს ტეილორის მწკრივებად დაშლის მესამე წევრის უგულვებელყოფა იწვევს ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის გაწრფივებას. შესაბამისად ცდომილებაც მნიშვნელოვნად დიდია. ამიტომ ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის შედარებით ზუსტი აგებისათვის, რომელშიც გათვალისწინებულია დენისა და ძაბვის ზღვრული ოპტიმალური $i_{\text{ოპტ}}^*$, $U_{\text{dc}}^* \text{ოპტ}$ მნიშვნელობები, აუცილებელი და საკმარისია ტეილორის მწკრივებად დაშლაში გათვალისწინებული იქნას პირველი სამი წევრი.

განხილულია მზის ელემენტის კონსტრუქციები და ამორფული კაჟბადის

($a - Si: H$) შენადნობის საფუძველზე გალიუმის არსენიდისა და მრავალკრისტალური ნახევარგამტარული მასალები. წარმოდგენილია ქარის ენერგიის წარმოშობის ფიზიკური საფუძვლები, მისი გამოყენების პერსპექტივები და ქარძრავების კლასიფიკაცია მუშაობის პროცესების მიხედვით.

განხილულია ტყვიამჟავიანი აკუმულატორული ბატარეის დამუხტვისა და განმუხტვის პროცესების რეგულირების კრიტერიუმები ჰიბრიდულ ელექტროენერგეტიკულ სისტემასთან პარალელური მუშაობის პირობებში.

დამუშავებულია იმპულსურ გარდამქმნელიან ჰიბრიდულ პარალელური ელექტროენერგეტიკული სისტემის განზოგადებული სტრუქტურული და პრინციპული ელექტრული სქემები (ნახ. 3-4). მათში გათვალისწინებულია ფოტოელექტრული გარდამქმნელები; მართვადი საკომუტაციო უკონტაქტო აპარატურები; ქარის გენერატორი; აკუმულატორული ბატარეა; დიზელ გენერატორი; დენის სამფაზა ავტონომიური ინვერტორი; მუდმივ ძაბვად გარდამქმნელი; სამფაზა ცვლადი დენის გამმართველი; სამფაზა ძალოვანი ტრანსფორმატორი; ტირისტორებისა და ტრანზისტორული მოდულების მართვის სისტემები; მუდმივი და ცვლადი დენის დატვირთვები; მუდმივი და ცვლადი ძაბვის ქსელები; მუდმივი დენის იმპულსური გარდამქმნელი სისტემა და ტრანზისტორული მოდულებზე აწყობილი მოდულაციური წრედი.

მეორე თავი ეძღვნება არატრადიციული და განახლებადი ენერგიის წყაროებიან მუდმივი და ერთფაზა ცვლადი დენის ავტონომიურ ჰიბრიდულ ელექტროსისტემაში(ნახ.3-4)ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების მათემატიკურ და კომპიუტერულ მოდელირებას; პროცესების მართვას; ტყვია - მჟავიანი აკუმულატორული ბატარეის დამუხტვა-განმუხტვის პროცესების რეგულირებას და მაქსიმალური სიმძლავრის გადაცემის კრიტერიუმის დადგენას.

დამუშავებულია ალგებრული და ინტეგრალური განტოლებების შესაბამისი სტრუქტურული მოდელები და კომპუტაციური ფუნქციის

ფორმირების ბლოკ-სქემა; მიღებულია ექვივალენტური პარამეტრები. რომელთა საფუძველზე აგებულია გარდამავალი პროცესების მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელის სტრუქტურული სქემები(ნახ.5,6).

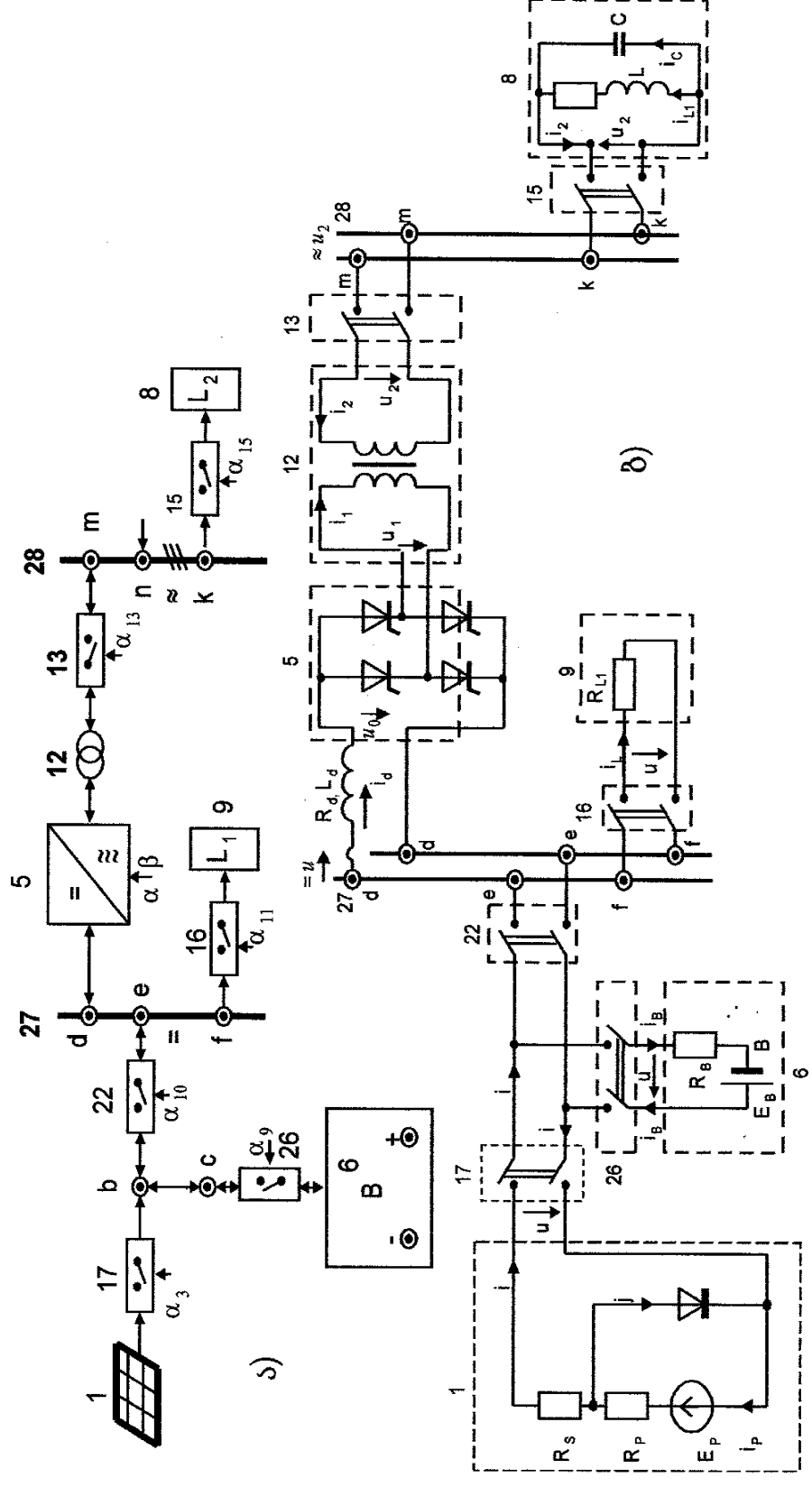
იმის მიხედვით, თუ როგორია კვების წყაროებისა და დატვირთვის სიმძლავრეთა თანაფარდობები შესაძლებელია მუდმივი და ცვლადი ძაბვის ენერგოსისტემებში კვების წყაროების სხვადასხვა კომბინაციით სექციონირება სპეციალური მუდმივი დენის იმპულსური გარდამსახის გამოყენებით.

ნახ.4-ზე ნაჩვენებია მუდმივი დენის იმპულსურ გარდამსახიანი მუდმივი და ცვლადი დენის ერთფაზა ძაბვის ჰიბრიდული ენერგოსისტემების პარალელური მუშაობის ამსახველი პრინციპული ელექტრული სქემა, რომელშიც განხილულია შემთხვევა, როცა მუდმივი დენის ენერგოსისტემაში დატვირთვის მიერ მოთხოვნილი სიმძლავრე მზისა და აკუმულატორული ბატარეის ჯამურ სიმძლავრეზე ნაკლებია და ცვლად u_2 ძაბვის ენერგოსისტემაში სიმძლავრის დეფიციტის არსებობის პირობებში იგი შეივსება არატრადიციული ენერგიის წყაროებიდან გარდაქმნილი ელექტრული ენერგიით.

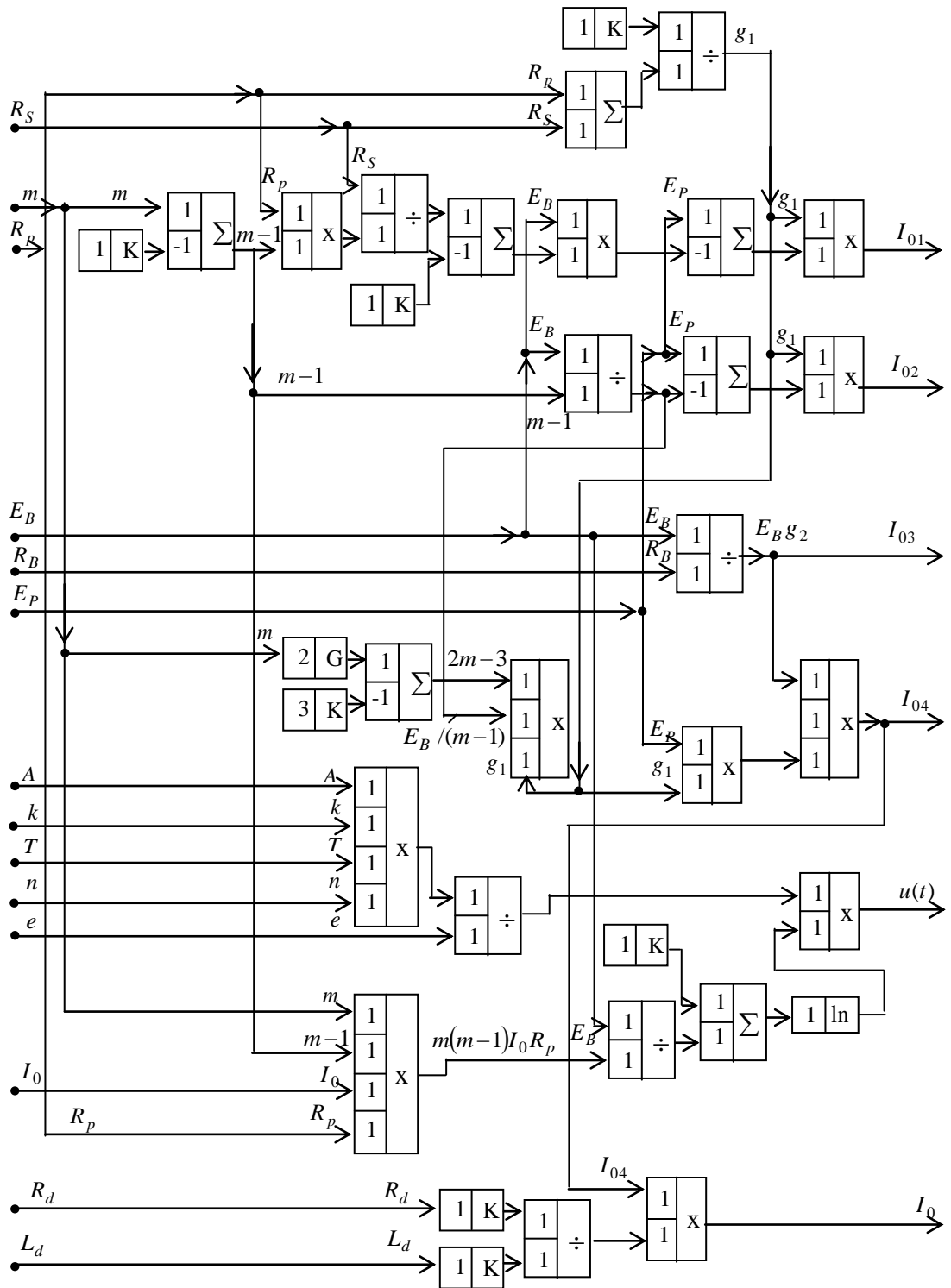
აღნიშნულ სქემაში $V_{B1,B2}$ IGBT ტრანზისტორებია; $T_{1,2}$ - ერთ- ოპერაციული სწრაფმოქმედი ტირისტორები; D_0 - ნულოვანი მაღალი სიხშირის დიოდი; $D_{V1,V2}$ - მადემპფირებელი დიოდები; $L_{V1,V2}-V_{B1,B2}$ ტრანზისტორებს შორის i_B -დენის თანაბრად განაწილებისათვის საჭირო დროსელების ინდუქციურობები; $L_{T1,T2} - T_{1,2}$ ტირისტორებში i_B, i -დენების ზრდის სიჩქარის შემზღუდველი დროსელების ინდუქციურობები და შეირჩევიან შემდეგი გამოსახულებებით:

$$L_{T1} = \frac{u}{\left(\frac{di}{dt}\right)_{\text{დას}}} ; \quad L_{T2} = \frac{u}{\left(\frac{di_B}{dt}\right)_{\text{დას}}} ;$$

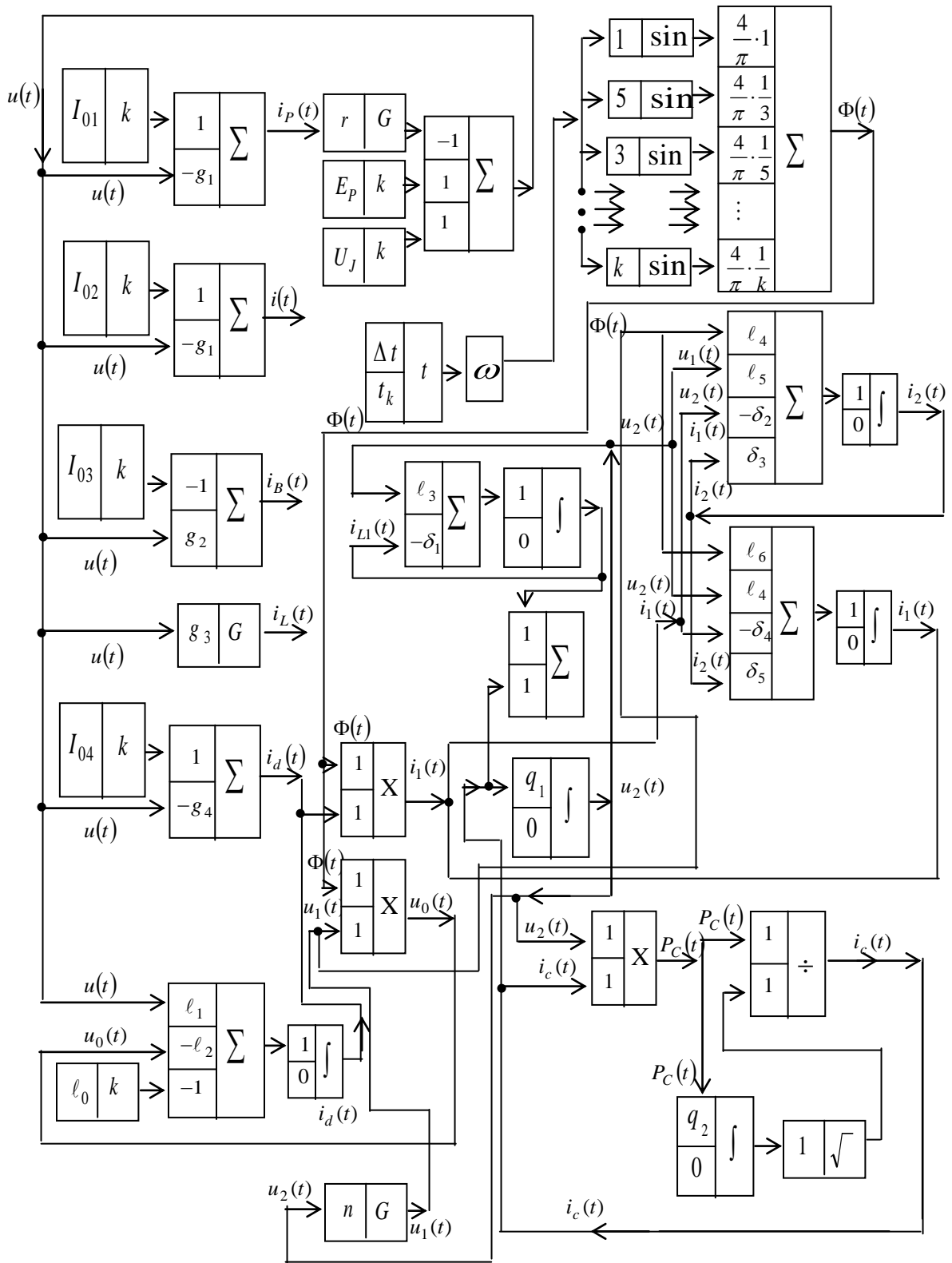
R_0 ; $R_{T1,T2}$; $R_{V1,V2}$; C_0 ; $C_{T1,T2}$; $C_{V1,V2}$ შესაბამისად D_0 - ნულოვანი დიოდის, $T_{1,2}$ ტირისტორების და $V_{B1,B2}$ ტრანზისტორების მადემპფირებელი წრედების აქტიური წინაღობები და ტევადობებია.



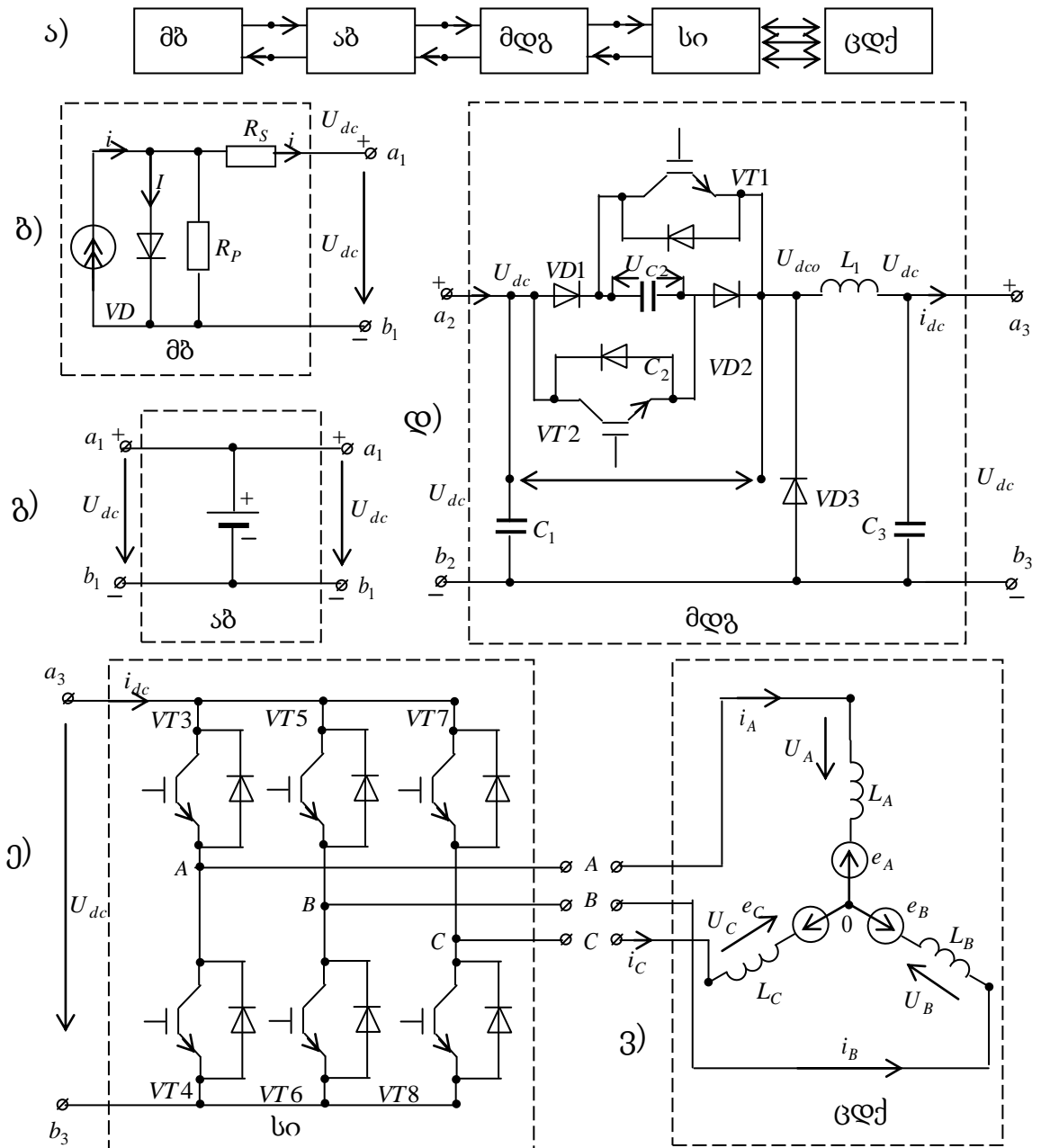
ნახ.3. განახლებადი ენერგიის წყაროების ბაზაზე მუდმივი და ცვლადი ძაბვის პარალელური ჰიბრიდული ენერგოსისტემა:
 ა) სამფაზა სტრუქტურული ბლოკ-სქემა; ბ) ერთფაზა პრინციპული ელექტრული სქემა



ნახ.5 გამოსახულებების საფუძველზე ჰიბრიდული ენერგოსისტემის $u(t)$ ძაბვის და $I_{01}, I_{02}, I_{03}, I_{04}$ დენების განსაზღვრის მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელის სტრუქტურული სქემა.



ნახ.6. ჰიბრიდული ენერგოსისტემის ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელის სტრუქტურული სქემა



ნახ.7 ჰიბრიდულ ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული სისტემის და სამფაზა ცვლადი დენის ქსელის პარალელური მუშაობის ამსახველი სტრუქტურული და პრინციპული ელექტრული სქემა.

მესამე თავი ეძღვნება ჰიბრიდულ ავტონომიურ ელექტროენერგეტიკული სისტემებისა და სამფაზა ცვლადი დენის ქსელის პარალელური მუშაობის დინამიური პროცესების მოდელირებას, რეჟიმების მართვას და ოპტიმიზაციას.

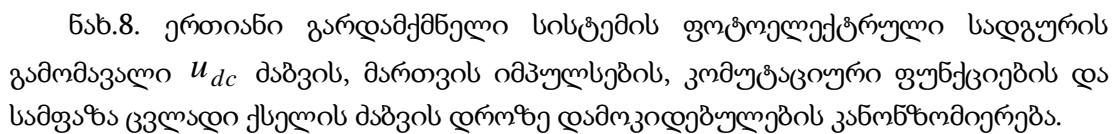
დამუშავებულია ჰიბრიდულ ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული სისტემის და სამფაზა ცვლადი დენის ქსელის პარალელური მუშაობის ამსახველი სტრუქტურული და პრინციპული ელექტრული სქემა (ნახ.7).

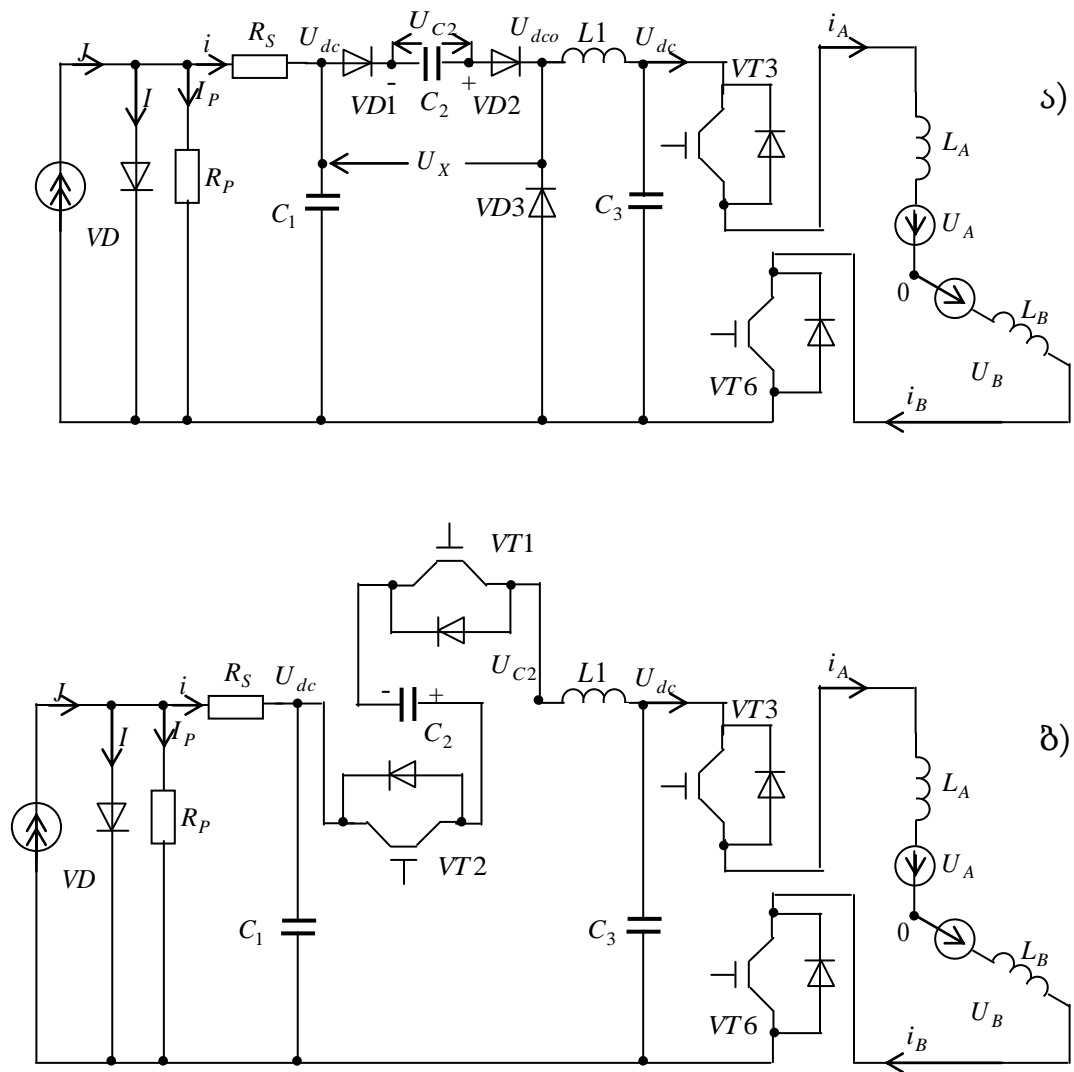
განხილულია მუშაობის 12 ძირითადი რეჟიმი, რომელთა ელექტრული სიდიდეების დროში ცვალებადობის კანონზომიერებები ნაჩვენებია ნახ.8-ზე. ზემოთ ჩამოთვლილი რეჟიმებიდან კენტი რიგის რეჟიმების ამსახველი სქემის ტოპოლოგია სტრუქტურულად ერთმანეთის მსგავსია. ფიქსირდება $VD_{1,2}$ დიოდებისა და C_2 კონდენსატორის მიმდევრობითი შეერთებები. განსხვავება არის $VT_{13} \div VT_8$ ძალოვანი ტრანზისტორების და ცვლადი სამფაზა ქსელის A, B, C ფაზების გადართვების თანმიმდევრობაში. ასევე ითქმის ყველა ლუწი რიგის რეჟიმების შესახებ, სადაც დაფიქსირებულია $VT_{1,2}$ ტრანზისტორების და C_2 კონდენსატორის მიმდევრობითი შეერთება.

ქვემოთ ნაჩვენებია ორი ერთმანეთისაგან განსხვავებული I(კენტი) და II (ლუწი) რეჟიმების საანგარიშო პრინციპული ელექტროსქემა(ნახ9,ა,ბ). ამ სქემისათვის შედგენილია ელექტრული წონასწორობისა და ცვლადთა მდგომარეობის მატრიცული განტოლებათა სისტემები განზოგადებულ $2(n-1)\frac{\pi}{6\omega} \leq t_{2n-1} \leq (2n-1)\frac{\pi}{6\omega}$ და $(2n-1)\frac{\pi}{6\omega} \leq t_{2n} \leq 2n\frac{\pi}{6\omega}$ ინტერვალებისათვის.

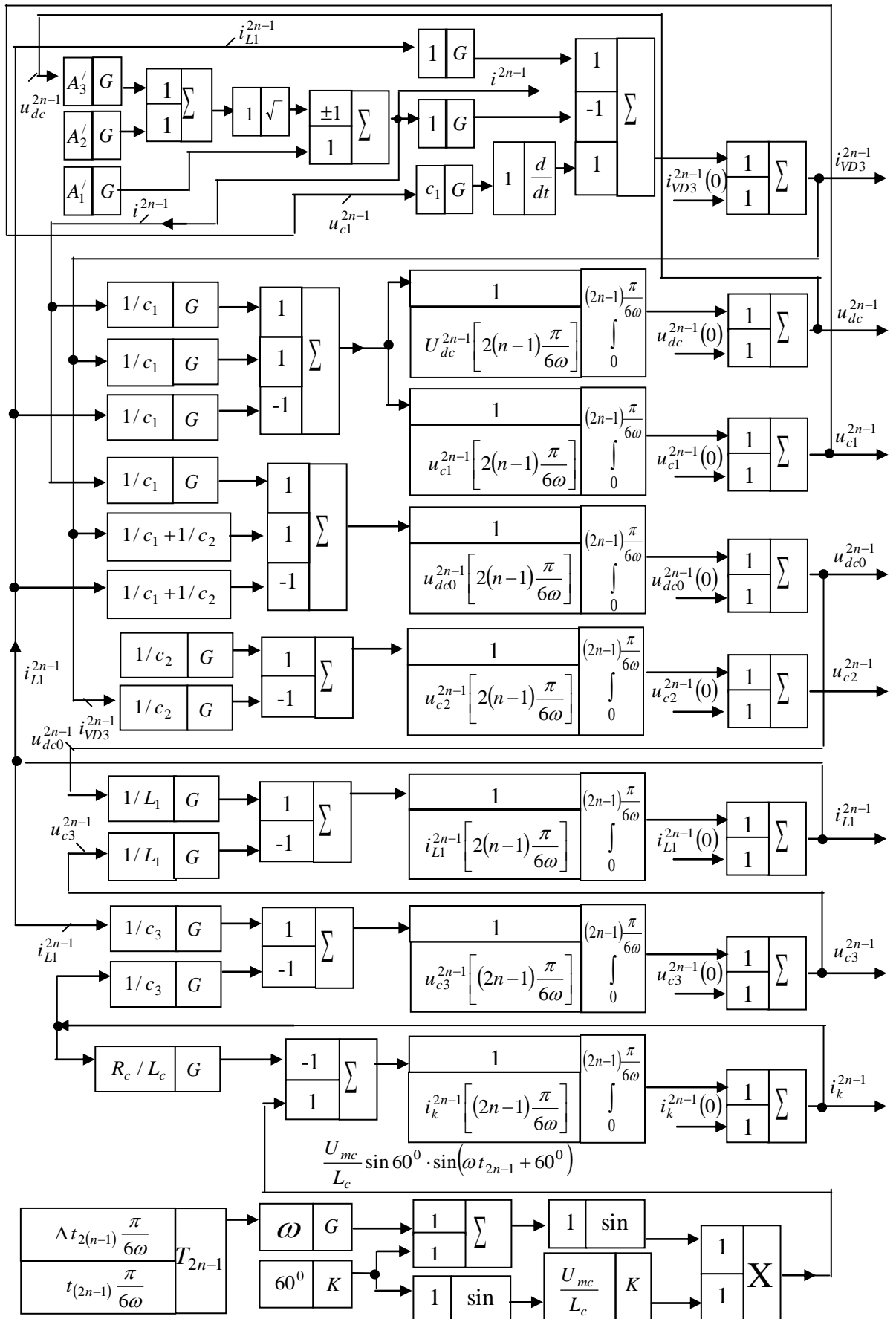
ნაშრომში წარმოდგენილია განზოგადებული განტოლებათა სისტემების ამოხსნა რიცხვითი მეთოდების საშუალებით; მიღებულია თითოეული ცვლადების ინტეგრალური გამოსახულებები და შესაბამისი რეკურენტული ფორმულები.

გაანგარიშებების საფუძველზე აგებულია კენტი და ლუწი ინტერვალებისათვის პროცესების მოდელის სტრუქტურული სქემები (ნახ.10,11).

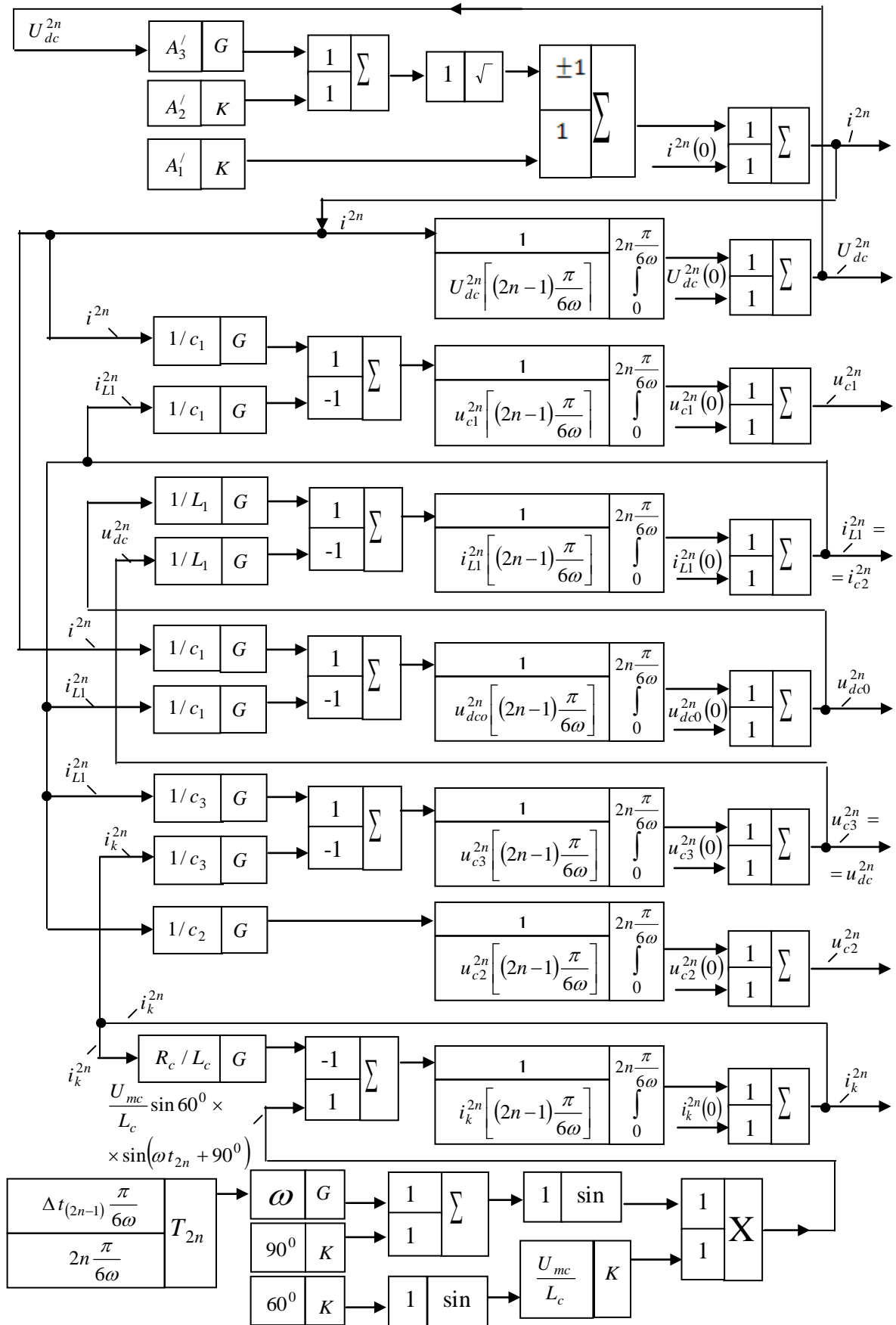




ნახ.9. ჰიბრიდულ ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული სისტემების
პარალელური მუშაობის კენტი და ლუწი რეჟიმების საანგარიშო
პრინციპული ელექტრული სქემა.



ნახ.10. გარდამავალი პროცესების გამარტივებული მოდელის სრულყოფილი სქემა კენტი რეჟიმების განზოგადებულ $2(n-1)\frac{\pi}{6\omega} \leq t_{2n-1} \leq (2n-1)\frac{\pi}{6\omega}$; $n=1,2,3,\dots,k=A,B,C$. ინტერვალებში



ნახ.11. გარდამავალი პროცესების კომპიუტერული მოდელის სრუქტურული სქემა ლუწი რეჟიმების განზოგადებულ $(2n-1)\frac{\pi}{6\omega} \leq t_{2n} \leq 2n\frac{\pi}{6\omega}$; $n=1,2,3,\dots$, $k=A,B,C$. ინტერვალებში.

3. დასკვნა

1. პირველად, ქარის ენერგიის მექანოტრონული, მზის ენერგიის ფოტოელექტრული გარდაქმნების და აკუმულატორული ბატარეების პარალელური დამუხტვა-განმუხტვის პროცესების ერთდროულად გამოყენების პირობებში შესრულდა მიზანმიმართული სამუშაოები მათი კლასიფიკაციის, სისტემატიზაციისათვის და გარდაქმნა-გამოყენების ტექნოლოგიების დანერგვაში ჰიბრიდული ელექტროენერგეტიკის სისტემის საიმედო, მდგრადი ავტონომიური ელექტრომომარაგების უზრუნველყოფის მიზნით.

2. განსაზღვრულია ენერგორესურსების მარაგი, დამუშავებულია არატრადიციული და განახლებადი ენერგიის წყაროებიდან ელექტრული ენერგიის მიღებისა და გამოყენების ტექნოლოგიების სტრატეგიული მიზნები და განახლებადი ენერგეტიკის განვითარების როლი საქართველოს მიუვალ და მთა გორიან რეგიონებში ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული სისტემის შექმნაში. წარმოდგენილია მზის ენერგიის ელექტრულ ენერგიად გარდაქმნის პროცესების ფიზიკური საფუძვლები. აგებულია ფოტოელექტრული ელემენტის განათებისას $P - n$ -გადასასვლელის ზონური ენერგეტიკული დიაგრამები მოკლე შერთვის, უქმი სვლის და დატვირთვის ნომინალურ რეჟიმებში.

3. წარმოდგენილია მზის ფოტოელექტრული ელემენტის შენაცვლების ელექტრული სქემა, რომელშიც გათვალისწინებულია ყველა საანგარიშო პარამეტრები. უქმი სვლისა და მოკლე შერთვის პარამეტრების გამოყენებით შედგენილია განტოლებათა სისტემა ფოტოელემენტის $P - n$ -გადასასვლელზე გამავალი ფოტოდენისა და გაჯერების უკუდენის მიმართ. ამოხსნის შედეგად ვღებულობთ ელემენტის უქმი სვლისა და მოკლე შერთვის პარამეტრებზე დამოკიდებულ ექვივალენტურ კოეფიციენტებს. ტეილორის მწკრივებად დაშლის შედეგად ვღებულობთ მზის ელემენტის სიმძლავრის რაციონალურ გამოსახულებას მრავალწევრის სახით, რომლის დენის მიხედვით გაწარმოების ნულთან გატოლების პირობიდან გამომდინარე ვღებულობთ ძაბვისა და

გამომავალი დენის ოპტიმალურ მნიშვნელობებს. ამგვარად ვღებულობთ მზის ელემენტის უქმი სვლის, ოპტიმალური და მოკლე შერთვის რეჟიმების დამახასიათებელი სამი წერტილის აბცისათა ღერძზე დენის, ხოლო ორდინატთა ღერძზე ძაბვის კოორდინატებს ფარდობით ერთეულებში. ლანგრაჟის ინტერპოლაციის ფორმულის საფუძველზე აგებული იქნა მზის ელემენტის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის გამოსახულება კვადრატული სამწევრის სახეში, რომლის კოეფიციენტები გამოსახულია ძაბვისა და დენის ოპტიმალურ მნიშვნელობების მიხედვით.

4. დამუშავებულია ქარის ენერგიის მიღებისა და გამოყენების ტექნოლოგიები. შესწავლილია ტყვია-მჭავიანი აკუმულატორული ბატარეის დამუხტვისა და განმუხტვის პროცესები ჰიბრიდული ელექტროენერგეტიკულ ავტონომიურ სისტემასთან პარალელური მუშაობის პირობებში. განსაზღვრულია ბატარეის ე.მ.ძ-ისა და შიგა წინაღობის მნიშვნელობები დამუხტვა-განმუხტვის პროცესში დენისა და ძაბვის მნიშვნელობების მიხედვით. დამუშავებულია იმპულსური გარდაქმნელისა და მოდულაციური წრედის შემცველი ჰიბრიდული პარალელური ელექტროენერგეტიკული ავტონომიური სისტემის განზოგადებული სტრუქტურული და პრინციპული ელექტრული საანგარიშო სქემები.

5. ჩატარებულია არატრადიციული და განახლებადი ენერგიის წყაროებიან მუდმივი და ერთფაზა ცვლადი დენის ავტონომიურ ჰიბრიდულ ელექტროსისტემაში ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირება განზოგადებულ კენტ და ლუწ მუშაობის რეჟიმებში. აგებულია ერთფაზა ძალოვანი ტრანსფორმატორის განზოგადებული ვექტორული დიაგრამა.

6. ჩატარებული კომპიუტერული მოდელირების საფუძველზე აგებულია ერთიან გარდაქმნელ ავტონომიურ სისტემაში ცვლადი ელექტრული სიდიდე-ების გარდამავალი პროცესების მოდელის სტრუქტურული სქემები, რომლებიც

შეთავსებადია რიცხვითი გაანგარიშების კომპიუტერულ პროგრამებთან. ჩატარებულია ავტონომიური ჰიბრიდული ენერგოსისტემების პარალელური მუშაობის რეჟიმების მართვა იმპულსური გარდამქნელისა და მოდულაციური წრედების საშუალებით.

7. შექმნილია მზის ფოტოელექტრული სადგურისა, აკუმულატორული ბატარეისა და სამფაზა ცვლადი დენის ქსელის ერთობლივი პარალელური მუშაობის ერთიანი სისტემა. ჩატარებულია ერთიანი სისტემის მუშაობის დინამიური პროცესების მოდელირება, რეჟიმების მართვა და ოპტიმიზაცია. დადგენილია მუშაობის თორმეტი რეჟიმი და თითოეული რეჟიმებისათვის ჩატარებულია მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირება.

8. დამუშავებული იქნა წარმოდგენილი დინამიური სისტემების ცვლადთა მდგომარეობათა მატრიცული განტოლებების დროის არეში რიცხვითი ამოხსნის მეთოდიკა კენტი და ლუწი განზოგადებული ინტერვალებში, რის საფუძველზე მიღებული იქნა საძიებელი სიდიდეების მიმართ სხვაობითი განტოლება მატრიცულ ფორმაში. მიღებული სხვაობითი განტოლება წარმოდგენილია რეკურენტულ ფორმაში შესაბამისი საწყისი პირობების გათვალისწინებით. ვინაიდან მიღებული საანგარიშო განზოგადებული გამოსახულებები აღმოჩნდა შეთავსებადი „ციფრული გამოთვლითი კომპიუტერული ტექნიკის“ მეთოდებთან, ამიტომ „მდგომარეობათა ცვლადების მეთოდის“ უპირატესობა სხვა საანგარიშო მეთოდებთან მნიშვნელოვნად დიდია.

9. ჩატარებულ იქნა სისტემის მუშაობის რეჟიმების ოპტიმიზაცია და დადგენილი იქნა მდგრადობის კრიტერიუმები, რის საფუძველზე მიღებული იქნა განზოგადებული კენტი და ლუწი რეჟიმებისათვის ამპლიტუდურ ფაზურ-სიხშირული მახასიათებლები და ამით დადგინდა, რომ წარმოდგენილი ჰიბრიდული ავტონომიური პარალელური ელექტროენერგეტიკული სამფაზა სისტემა მუშაობის ყველა რეჟიმში მდგრადია.

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებული ძირითადი ნაშრომები:

1. კობრიძე გ., ფხაკაძე შ. განახლებადი ენერგიის წყაროებიან ავტონომიურ ენერგოსისტემაში ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების მათემატიკური მოდელირება. „ენერგია“ N3(55). თბილისი, 2010წ.37-43 გვ.
2. კობრიძე გ., ფხაკაძე შ. განახლებადი ენერგიის წყაროებიან ავტონომიურ ენერგოსისტემაში დინამიური პროცესების კომპიუტერული მოდელირება. „ენერგია“ N3(55). თბილისი, 2010წ. 44-50გვ.
3. Кохреидзе Г., Лаошвили Д., Курашвили И., Пхакадзе Ш. Режимы пуска и тяги двигателя постоянного тока с учетом трехфазного мостового выпрямительно-инверторного преобразователя тяговой подстанций. Труды НТУ „ХПИ“Харьков.2010 г.Украина. 328-331 с.
4. Кохреидзе Г., Лаошвили Д., Пхакадзе Ш. Управление системой при совместной работе солнечных фотоэлектрических станций и сети переменного тока. Труды НТУ „ХПИ“ Харьков. 2011 г. N03(79)Украина. 371-374 с.
5. კობრიძე გ., ფხაკაძე შ., გოგინაშვილი ნ., ჯავშანაშვილი ნ. მზის ფოტოელექტრული სადგურისა და სამფაზა ცვლადი დენის ქსელის ერთობლივი მუშაობა. ჟურნალი „ენერგია“N3(59). თბილისი, 2011წ.20-28 გვ.
6. კობრიძე გ., გოგინაშვილი ნ., ყურაშვილი ი., ფხაკაძე შ., მეგენიშვილი თ. წევის ქვესადგურების ერთიან გარდამქმნელ სისტემაში ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირება. „ენერგია“N2(62). თბილისი, 2012წ. 5-16 გვ.
7. Кохреидзе Г., Лаошвили Д., Мурджикнели Г., Курашвили И., Пхакадзе Ш. Управление и оптимизация режимов параллельной работы гибридной автономной электроэнергетической системы и сети переменного тока. „Кременчук“, Украина , 2012г. 220-224с.

8. კობრეიძე გ., გოგინაშვილი ნ., ყურაშვილი ი., ფხაკაძე შ., მეგენიშვილი თ. წევის ქვესადგურების ერთიან გარდამქნელ სისტემაში მატარებლის რეკუპერაციული დამუხრუჭების რეჟიმებში პროცესების მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირება „ენერგია,” N2 (62) 2012წ. თბილისი, 17-29 გვ.

9. ფხაკაძე შ., კობრეიძე გ. ჰიბრიდული ავტონომიური ენერგეტიკული პარალელური სისტემის მუშაობის რეჟიმების ოპტიმიზაცია და მდგრადობის გამოკვლევა. ჟურნალი „ენერგია,” N4 (64) 2012წ. თბილისი, 43-47 გვ.

10. კობრეიძე გ., გოგინაშვილი ნ., ყურაშვილი ი., ფხაკაძე შ., მეგენიშვილი თ. წევის ქვესადგურების ერთიანი გარდამქნელი სისტემის მდგომარეობათა ცვლადების მატრიცული განტოლებების ამოხსნა. „ენერგია,” N2 (62) 2012წ. თბილისი, 30-36 გვ.

11. ლაოშვილი დ., კობრეიძე გ., ფხაკაძე შ., გოგინაშვილი ნ. ენერგიის განახლებადი წყაროების გამოყენების ტექნიკური პრობლემები. ჟურნალი „ენერგია”, N1 (65) 2013წ. თბილისი, 32-39 გვ.

12. ფხაკაძე შ. მზის ფოტოელექტრული სადგურისა და სამფაზა ცვლადი დენის ქსელის ერთობლივი მუშაობა. N79 -ე სტუდენტური საერთაშორისო ღია სამეცნიერო კონფერენციაზე წარდგენილი სამეცნიერო ნაშრომი (ხელნაწერის უფლებით).თბილისი,2011წ. 1-12 გვ.

13. ფხაკაძე შ. განახლებადი ენერგიის წყაროებიან ჰიბრიდული პარალელური ენერგოსისტემის ერთობლივი მუშაობის რეჟიმების ოპტიმიზაცია. N1 თემატურ სემინარზე წარმოდგენილი სამეცნიერო ნაშრომი (ხელნაწერის უფლებით). თბილისი,2012წ. 1-40 გვ.

14. ფხაკაძე შ. ენერგიის არატრადიციული და განახლებადი წყაროების გარდაქმნისა და გამოყენების ტექნოლოგიები ელექტროენერგეტიკაში. სტუდენტთა N80-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო ტექნიკური კონფერენცია. თბილისი, 2012წ. 1-20 გვ.

15. ფხაკაძე შ. წევის ქვესადგურის ერთიან გარდამქნელ სისტემაში ელექტრომაგნიტური გარდამავალი პროცესების მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირება (ხელნაწერის უფლებით). N2 თემატურ სემინარზე წარმოდგენილი სამეცნიერო ნაშრომი. თბილისი. სტუ. 2013წ. 1-20 გვ.

16. ფხაკაძე შ. ჰიბრიდული ავტონომიური ელექტროენერგეტიკული სისტემების პარალელური მუშაობის დინამიური პროცესების მოდელირება, რეჟიმების მართვა და ოპტიმიზაცია. საგანმანათლებლო პროგრამის კვლევითი კომპონენტის კოლოქვიუმი-3-ის სამეცნიერო ნაშრომი (ხელნაწერის უფლებით). სტუ, თბილისი, 2013. 1-65 გვ.

ავტორის პირადი წვლილი. დისერტაციაში წარმოდგენილი ყველა შედეგი მიღებულია უშუალოდ ავტორის მიერ სამეცნიერო ხელმძღვანელთან და თანაავტორებთან განუყოფელი ერთობლივი წვლილის აღნიშვნით.

Summary

There are presented in doctoral dissertation the following parts: topicality of research; goal and object of research; methods of research; main results and novelty of research; area of potential use of research results; publications; approbation of work and structure of dissertation. There is presented the content of dissertation and shown the issues considered in introduction part.

The following issues are considered in Chapter 1: non-traditional and renewable energy sources conversion and using technologies in power industry; current state and perspectives for use of non-traditional and renewable energy sources; reserves of energy recourses; strategic objectives of the use of renewable energy sources and the role of the development of renewable energy sources; physical basis of solar energy conversion processes; solar radiation intensity; photovoltaic properties of $P - n$ junction; volt-ampere characteristics of solar batteries; solar batteries designs and materials; wind energy and possibilities for its use; wind generation; wind zones of Georgia; classification of wind motors by operational principles; operation of wind motor blade surface under the impact of wind power; lead-acid battery's charging and discharging processes under conditions of parallel operation with hybrid power supply system; development of generic structural and schematic electric circuits of impulse converter hybrid parallel power supply system.

There is established the classification of non-traditional and renewable energy sources by primary energy sources, natural conversion of energy, technical conversion of energy and secondary energy consumption.

There are presented the zone electric power diagrams of $P - n$ junction during lightening for cases with short circuit, off-load and switching on load resistance.

By using the off-load, short circuit and optimal parameters, as a result of interpolation of Lagrange formula's volt-ampere characteristic, there is obtained the mathematical model of volt-ampere characteristic in the form of quadratic trinomial.

By charging and discharging voltage and current of battery, there are presented the so-called force and internal resistance calculation formulas.

There are developed the technologies of obtaining and using of non-traditional and renewable energy sources in power industry and presented the appropriate structural and schematic electric circuits.

Chapter 2 refers to the issues of mathematical and computer modeling of electromagnetic transient processes in autonomous hybrid power supply systems of direct and single-phase alternative currents of non-traditional and renewable energy sources; non-traditional and renewable energy sources in Georgia; by means of developed scheme there are shown the mathematical and computer modeling of electromagnetic transient processes in hybrid power system, regulation of the battery charging and discharging processes and construction of structural schemes of transient

processes; controlling of autonomous hybrid power supply systems of direct and single-phase alternative currents by means of pulse converters; there is created the electric network of operation regulated by converting device of direct and alternative voltage power systems; there are defined the operation principle and electric quantities regulation and control issues.

There are determined the regularities of rectifier stitching-in angle in transient processes by inverter transformer circuits.

There is designed the generalized vector diagram of single-phase transformer voltages and currents in autonomous power systems of renewable energy sources.

In Chapter 3 there are considered the issues related to the modeling of parallel operation dynamic processes of hybrid autonomous power supply systems.

There is created the uniform system of solar photovoltaic power plant, accumulator battery and three-phase alternative current network.

There are established the main twelve joint operation modes of elements in the mentioned system; the regulation and control of these systems are shown as well.

There is set up the electric state equation of generic even and uneven parallel operation modes of hybrid autonomous power supply systems towards instantaneous values of variables.

There is carried out the procedure for solution of equation system and obtained the expression of variables instantaneous values as for transient, so for steady modes within the generic time n intervals.

There is carried out the computer modeling of electromagnetic transient processes in hybrid parallel power supply systems.

There are considered the major properties of the structural scheme elements of the model of transient processes during operation of hybrid autonomous power supply systems.

There are designed the structural schemes of the computer-based model of hybrid autonomous power supply systems within generic time intervals of even and uneven modes.

There is executed the numerical solution of variables state matrix equations of the dynamic systems of hybrid autonomous power supply systems.

There is carried out the optimization of hybrid autonomous power supply systems operation modes and studied the federated system's sustainability. There are designed the amplitude-phase-frequency characteristics for even and uneven generic modes.

There is presented the list of author's publications related to the background of this dissertation, and shown the author's contribution to execution of the dissertation part of this research.